九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

# BMIと除脂肪量指数(FFMI)及び脂肪量指数(FMI)に関する問題

小宮, 秀一
九州大学健康科学センター

https://doi.org/10.15017/3510

出版情報：健康科学. 26, pp.1-7, 2004-03-25. 九州大学健康科学センター
バージョン：
権利関係：

KYUSHU UNIVERSITY

健　康　科　学
Vol. 26, 2004年 3 月

— 総　説 —

# BMI と除脂肪量指数（FFMI）及び脂肪量指数（FMI）に関する問題

小　宮　秀　一[1)*]

# Issues Relating to Body Mass Index, Fat-Free Mass Index and Fat Mass Index

Shuichi KOMIYA[1)*]

**Abstract**

Over the last two decades, a dramatic increase in overweight and obesity has been reported in both developed and under-developed countries. Associated with this excess of body mass and body fat is the increased risk of developing heart disease and diabetes. Childhood obesity is rapidly emerging as a global epidemic that will have profound public health consequences as obese children become obese adults. However, there is no internationally acceptable index to assess childhood obesity. Furthermore, attention has focused primarily on the methods by which body composition data are obtained, and less on the way in which the data is expressed. The advantage of using body mass index (BMI) is that stature and body mass are variables readily available and easy to measure. However, the major shortcoming of the BMI is that the actual composition of body mass is not taken into account: excess body mass may be made up of either adipose tissue or muscle hypertrophy, both of which will be judged as 'excess mass'. To resolve these issues, BMI can be separated into its fat-free and fat components. These two indices, known as the fat-free mass index (FFMI; FFMkg/m$^2$) and fat mass index (FMI; FMkg/m$^2$) are both discrete and adjusted for stature. The potential advantage is that only one component of body mass, i.e., fat-free mass (FFM) or fat mass (FM), is related to the stature squared. Considering that BMI is the sum of FFMI＋FMI, an increase (or a decrease) in BMI can be traced to a rise (or a drop) in one or the other component, or both. FFMI and FMI used in conjunction with a percentile grid derived from a suitable reference population can be expected to provide more meaningful information about nutritional status than BMI alone can offer. The purpose of this article was to introduce these indices, by which leanness and obesity in children can be more accurately assessed.

***Key words***: body composition, BMI, fat-free mass index, fat mass index

(Journal of Health Science, Kyushu University, 26: 1 - 7 , 2004)

1）九州大学健康科学センター　Institute of Health Science, Kyushu University
* 連絡先: 九州大学健康科学センター　〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1　Tel/fax: 092-583-7848
Correspondence to: Institute of Health Science, Kyushu University 6-1 Kasuga-koen, Kasuga, Fukuoka 816-8580, Japan
Tel/fax: +81-92-583-7848　E-mail: komiya@ihs.Kyushu-u.ac.jp

## はじめに

この20年間で世界中の肥満傾向者は急増し，11億人に達している．わが国でも，1998年の15歳以上の男性で1300万人，女性で1000万人が肥満傾向者であると推定されている[1]．体重や体脂肪量の過剰は，心疾患や糖尿病などのリスクを高める[2]ため，疫学上の重大な課題となっている．

過体重は，過剰な体重を表すが，肥満では，総体脂肪量（kg）や体重に占める総体脂肪量の割合（%）として表される身体の脂肪量が問題とされる．しかし，肥満で問題にされる総体脂肪量を広い年齢範囲にわたって容易に，そして正確に測定する方法はない．

体重は，総体脂肪量と有意な相関を示すが，身長は総体脂肪量と必ずしも有意な相関を示すとは限らない[3]．しかし，身長と体重がフィールド研究にとって簡単で正確な測定であるため，身長で調整した体重が過体重や肥満の妥当な指針であると考えられ，多くの疫学研究では用いられている．現在，身長の二乗で調整した体重（Body Mass Index，BMI; kg/m$^2$）が過体重や肥満の尺度として広く用いられている[4-5]．しかし，BMI は体重を身長の二乗で除した指数であるため，発育期にある小児については，身長との関係が考慮されなければならない．

本解説論文は，過体重や肥満の判別に BMI を用いる場合の限界を考察している．さらに，体重を構成する主要な成分を除脂肪量（Fat-Free Mass; FFM）と脂肪量（Fat Mass; FM）と考え，体重を身長の二乗で調節した BMI（kg/m$^2$）は，FFM，kg/身長$^2$＋FM，kg/身長$^2$ と同一概念である[6]という立場から，BMI を除脂肪量指数（Fat-Free Mass Index; FFMI）と脂肪量指数（Fat Mass Index; FMI）に分割して，BMI と FFMI 及び FMI の問題を論じている．

## 1．BMI

体重（W）と身長（H）の組み合わせによる，W/H（比体重），W/H$^2$（ケトレー指数），W/H$^3$（ローレル指数），W$^{1/3}$/H（ポンデラル指数），H/W$^{1/3}$（シェルドン指数），cW$^{1.2}$/H$^{3.3}$（アブデル-マレック指数）などが，体格指数として用いられている．W/H は14歳以上の女子を除いて身長と全年齢で高い有意な相関を示し，W/H$^3$は８歳以上の男子を除いて身長とマイナスの相関を示し，体重とは相関しない[7]．しかし，W/H$^2$は，男女の全年齢で体重と高い有意な相関を示し，身長とは高い相関を示さず，総体脂肪量ともかなり高い相関を示す[7]．W/H$^2$（kg/m$^2$）は Quetelet LAJ（1869）[8]によって開発され，Keys ら（1972）[9]によって BMI と命名された．

### １）BMI 使用の限界

BMI が過体重や肥満の判定に最も広く用いられる理由は，身長と体重の測定が比較的容易であり，正確であることである．従って，BMI 使用の利点は，計算が容易で，身長ともあまり相関せず，他の肥満指数とはかなり相関する[10-12]ことである．

しかし，BMI を構成する２つの成分である体重と身長，およびそれらの相対的な重みづけから，次のような限界が生じる；１）身長が１つの成分であるため，BMI は少なくともある年齢範囲では身長に依存するであろう，２）分母として身長を使用するため，BMI は相対的な脚長や座高の影響を受けるであろう，３）分子として体重を使用するため，BMI はかなりの程度，除脂肪組織量（FFM）や脂肪組織量（FM）の影響を受けるであろう[13]．

BMI が身長とは無関係な体重の指数であるとする仮定は，以下の点から必ずしも正しくない；１）身長は異なるが体重が同じ個体間でも，かなり体脂肪レベルが違う[3]，２）BMI は身長の二乗を用いて身長の影響を補正しているが，身長の影響が完全に除去されているとは限らない[3]，３）特に，小児における BMI と身長の相関（r＝0.3）は，成人の相関（r＝−0.12）より高く，BMI が身長とは無関係であるという仮定は，小児では必ずしも正しくない[13]．

例えば，BMI と身長の相関係数は，１歳以下と６歳以上では高く，１歳から６歳までの間では低い[7]．このことは，以下の２つの一般的な現象の連続的な変動のためであると考えられる；１）１歳以下と６歳以上では，体脂肪と身長が共に発育によって増加するためであり，２）１歳と６歳の間では，体脂肪が減少する一方で，身長が増加するためである．つまり，BMI と身長の相関係数は，１歳以下と６歳以上ではプラスで高く，１歳から６歳の間では低く，しばしばマイナスである[7]．

このように，BMI を過体重や肥満の指標として用いる場合，FFM と高い有意な相関を示す身長の影響を除去しなければ，BMI の増大が脂肪（FM）の増大によるのか，除脂肪量（FFM）の増大によるのかが判断できない．

成人の BMI と体脂肪量は相関する（r＝0.7～0.8）と報告されている[14]が，小児期では発育という要因がその明確化を複雑にしている．BMI と体脂肪率

（%FM）の相関も，成人では一般に高いと報告されている[15]が，小児期における BMI と肥満度との関係は必ずしも明らかにされていない[16]．

BMI は，肥満判別の指標として適切なものであるように思われるが，上記のように，身長と BMI の相関係数は年齢によって変わる．また，体重は，FFM と FM の両成分から構成され，これらの成分の相対的な比は個体間で変わりうる．従って，BMI の違いが FFM から生じるのか，FM から生じるのかを実証することが重要である．

**２）肥満判別の BMI−カットオフ**

幾つかの BMI−カットオフ値が肥満の判別に用いられている．例えば，世界保健機関（WHO）は，BMI＝25.0kg/m$^2$と29.9kg/m$^2$の間を成人の過体重，BMI＝30.0kg/m$^2$以上を成人の肥満とする基準を提起している[17]．これらのカットオフ値は，BMI と死亡率や罹患率との関係における一般的な傾向から定義されている[18]．BMI＝25.0 と BMI＝30.0というカットオフ・ポイントが National Center for Health Statistics（NCHS）基準における18歳男女のそれぞれ80パーセンタイル（%ile）と95%ile に該当することから，アメリカでは小児期から青年期までの過体重のカットオフ・ポイントを80%ile，肥満のカットオフ・ポイントを95%ile に相当する BMI として用いている[19]．しかし，95%ile-BMI を肥満のカットオフ・ポイントとして用いている国は，アメリカ，カナダ，サウジアラビアなどに過ぎず，フィンランド，フランス，ギリシャ，ハンガリー，イギリスなど多くの国は，90%ile を用いている[14]．わが国でも90%ile が用いられ，ベルギーとオランダは97%ile をオーストラリアは85%ile を用いるなど，カットオフ・ポイントは，それぞれの国民の肥満度と代謝疾患特性によって異なっている[14]．しかも，これらのカットオフ・ポイントの多くは，特定地域の母集団に基づいた%ile を用いており，全国的な母集団に基づいたものは少ないようである[14]．

BMI を肥満のカットオフ・ポイントとして使用するには，BMI が身長と有意な相関を示さないという前提が必要である．しかし，６歳以降，女子では12歳まで，男子では10歳或いは14歳までの間，BMI は身長と有意に相関することが報告されている[7]．つまり，これらの年齢範囲で，BMI のカットオフ・ポイントを肥満判別に用いることは慎重でなければならない．むしろ，思春期では BMI よりローレル指数（W/H$^3$）の方が良い指数であろうとする報告もある[20]．

一方，若年成人男子で%FM＝20以上，女子で%FM＝25以上が肥満のカットオフ・ポイントとされている．BMI と%FM の相関関係は強いが，17歳以上の成人では，これらの関係が二次式で表され，直線関係になく，この関係は年齢と性に影響されるという報告がある[18]．従って，水中体重秤量法で求めた%FM による肥満判別に対する BMI-%ile カットオフ・ポイントによる肥満の検出能力は劣り，その感度（sensitivity）は45～55%である[15]．同様に，小児を対象にインピーダンス法で求めた%FM と BMI-%ile の比較でも，男児46%と女児72%という sensitivity が報告されており[21]，いずれも BMI-%ile の sensitivity は高くない．しかし，多くの研究は，非肥満者を非肥満者と判別する BMI-%ile の特異度（specificity）について90%－98%を報告している[15][21]．

要約すると，BMI が肥満判別の適切な指数となるためには，次の３つの条件が満たされるべきである：１）身長と無相関であること，２）体重と強く相関すること，３）体脂肪量と強く相関すること．また，BMI が%FM と相関するとしても，BMI は肥満の検出に対して感度が劣るため，身長と体重だけに基づいた BMI は，集団における肥満者の一次スクリーニングには適していても，個人の肥満診断に用いる場合には慎重は配慮が必要であろう．

## ２．FFMI と FMI

BMI は，出生後の１年間で男児17.1kg/m$^2$，女児16.3kg/m$^2$まで急激に大きくなり，その後５歳で最低値（男児15.9kg/m$^2$，女児15.3kg/m$^2$）に達し，徐々に大きくなりながら成人の20－25kg/m$^2$に達する[22]．このように，１歳から減少して５歳以降から思春期にかけて増大する BMI の変化を脂肪蓄積リバウンド（adiposity rebound）と呼んでいる[23]．この５歳から思春期にかけて BMI が増大する時期は，前述したように BMI と身長が高い相関を示す時期である．従って，この時期の BMI の増大が体重を構成する FFM の増大に起因するのか，FM の増大に起因するのかは，BMI では判断できない．

一方，伝統的に脂肪量（FM）は体重のパーセンテージ（%FM）として表すことで標準化されるが，除脂肪量（FFM）はボディ・サイズで調節されずに絶対値（kg）で表される傾向にある．例えば，図１のように身長は同じであるが体重が異なる３人の被験者を仮定する．A と B は FFM が同じであるのに対して FM が異なり，B と C は FM が同じであり FFM が異なる．この場合，%FM の大きさは C＞B＞A の順

となり，FFMの体重に占める割合（%FFM）が影響している．しかし，BMIはB>A>Cの順に小さくなり，%FMの大きさとは無関係である．この問題の重要性は，%FFMにおける被験者間の違いが%FMの違いに影響するという点である．つまり，肥満はFMの増加ばかりでなく，FFMの増加も引き起こすため[24]，%FMのような肥満度の表現法は，FM増加の絶対量を過小評価し，FFMの変化を包み隠す可能性がある．また，%FFMと%FMは和として体重（100%）を構成するため，一方が他方以上に減少すれば，もう一方は相対的に増加することになる．従って，身体組成を個人間や集団間，或いは長期間にわたる個人内や集団内で比較する場合，FFMやFMの測定値はボディ・サイズで調整される必要がある．

**1）FFMIとFMIの概念**

FFMとFMをボディ・サイズで調整する1つの方法は，FFMとFMから構成される体重を身長で調整し，次にこの調整した体重をFFMとFMの2成分に分けることである[6]．BMIは身長（H）で調整した体重（W）の指数として確立されているので[25-26]，以下の式が成り立つ：

$$BMI = WT/HT^2 = FFM/HT^2 + FM/HT^2.$$

FFM (kg)/$H^2$ ($m^2$) は除脂肪量指数（Fat-free mass index; FFMI），FM (kg)/$H^2$ ($m^2$) は脂肪量指数（Fat mass index; FMI）と呼ばれている[6]．

**2）FFMIとFMI使用の利点**

BMIとFFMI及びFMIは，それぞれ別のものであるが，いずれもボディ・サイズで調整した指数である．BMIをFFMIとFMIに分けることは，身体組成の測定なしには不可能であるが，これらの指数の計算は容易であり，共通のkg/$m^2$という単位で表すことができる．

FFMIやFMIという指数を用いることは，身長の異なった被験者のFFMやFMに関する臨床学的な解釈にとって有効である．例えば，図2のように，体重が殆ど同じで身長が低い健康な被験者（A）と身長が高く栄養障害にある被験者（B）を仮定して，AとBのFFMやFMを絶対値やパーセンテージで比較すると，両者の身体組成は殆ど同じに評価される[6]．しかし，両被験者のFFMIとFMIを計算すると，AのFFMIは21.2，Bは17.7となり，FMIはAが3.1，Bが2.4となる．このように，両被験者には身長差があるため，FFMとFMを身長で調整すると，被験者BのFFMIとFMIは被験者Aより小さな値となり，被験者Bが痩せ傾向にあることがわかる．

次に，ダイエットによる減量の評価にFFMIとFMIという指数を用いてみる．ダイエット期間は24週間で，体重の減少は初期体重の24%であったと仮定する．ダイエット開始から24週間後までに中止後の12週間を加えて，水中体重秤量法で測定したFFMとFMの体重に占める相対値（%FFMと%FM）とFFMI及びFMIの変化を図3に示す[6]．大きな体重減少に伴って，%FMは低下を示すが，前述したように，もう一つの体重の構成成分であるFFMの相対値は体重減少にも関わらず増大したという結果を示す．しかし，ダイエットによって身長は減少しないため，FFMとFMを身長で調整してFFMIとFMIを求め

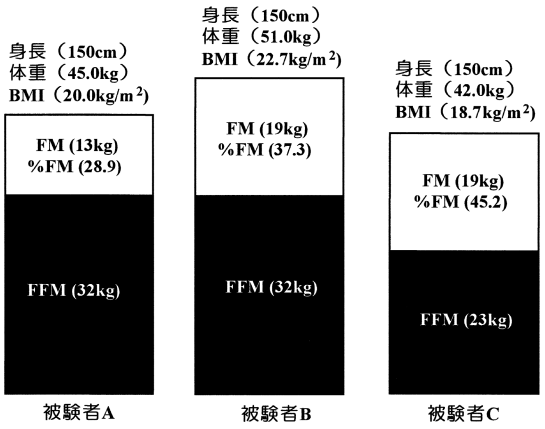


図1　身長が同じで体重が異なる3人の仮想被験者
Wells et at.（2002）を著者修正．

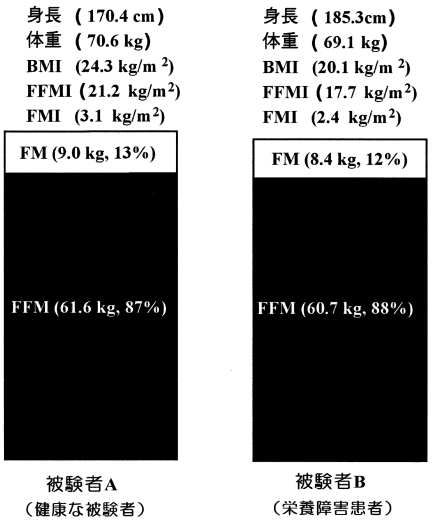


図2　体重と身体組成が殆ど同じ健康な被験者と栄養障害患者
Van Itallie et at.（1990）を著者修正．

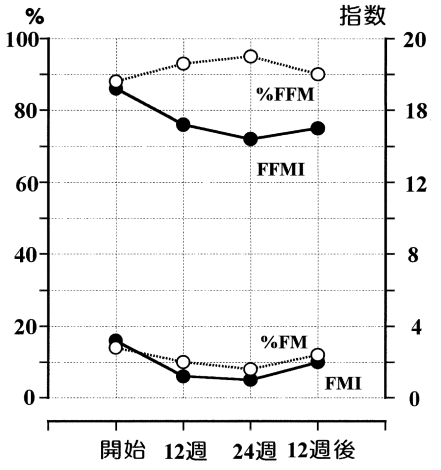


図３　24週間のダイエットによる身体組成の変化
Van Itallie et at.（1990）を著者修正.

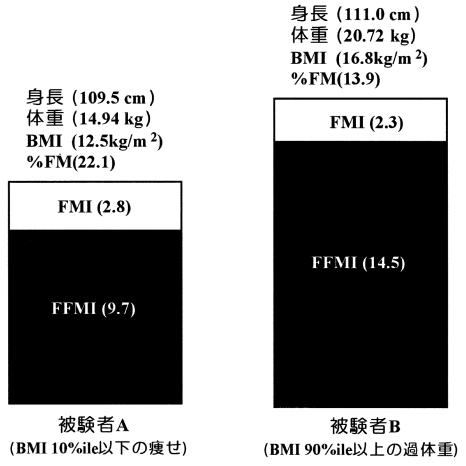


図４　痩せ小児と過体重小児の **FFMI** と **FMI**
著者の未発表データ（６歳の女子小児）.

ると，両指数は明らかに減少傾向を示す.

痩せは，FM の減少と同時に FFM の減少も伴う体重の異常減少であり，肥満とは対照的に低栄養状態や栄養障害による症候性の痩せが多い．従って，痩せの評価には FM の評価に加えて FFM の評価も重要である．図４は，６歳の小児集団において BMI が10%ile 以下にあり痩せと判断される被験者 A（BMI＝12.5）と90%ile 以上にあり過体重と判断される被験者 B（BMI＝16.8）を比較している．%FM によって両者を比較すると，A の%FM は22.1であり，過体重と判断される B の%FM＝13.9より明らかに高い値を示す．しかし，両者の FMI は殆ど同じ（A＝2.8と B＝2.3）であっても，FFMI を評価すると B の14.5に対して A の FFMI は9.7であり，FFMI の評価によってはじめて被験者 A が痩せ傾向にあると評価される.

このように，FFMI は栄養障害の結果である身体組成上の特徴として現れる痩せに関する臨床上の情報を提供する評価指数として重要な意味をもつものである.

### ３）FFMI と FMI に関する今後の課題

BMI は，FFMI＋FMI であるため，BMI の増大（減少）は，一方の成分の増大（減少）或いは両成分の増大（減少）で説明できる．また，一定の BMI でも，FFMI が増大すれば FMI は減少するであろう．従って，FFMI と FMI の組み合わせによって，痩せか肥満かは判定される．例えば，図４に示した痩せの被験者 A のように，身長109.5cm，体重14.94kg であれば，BMI は12.5となるが，もし A の FFMI が標準値より高く，FMI も標準値より高ければ，被験者 A は痩せとは評価されない．FFMI と FMI の組み合わせには４つの典型が考えられる：１）低 FFMI と高 FMI（特異的な肥満）２）低 FFMI と低 FMI（慢性的なエネルギー不足による痩せ）３）高 FFMI と低 FMI（筋肥大を伴う過体重）４）高 FFMI と高 FMI（典型的な力士のような肥満）．しかし，このような判別には基準となる標準値が必要である．しかし，FFMI と FMI の概念は，栄養状態の評価指数として既に記述され[6)27)]，FFMI や FMI に関する健康な成人の標準値もある程度明らかにされているが[28)]，小児については明らかにされていない．従って，FFMI と FMI という指数を有効に利用するためには標準値の作成が今後の重大な課題である.

最後に，例え FFMI と FMI が栄養状態の有効な評価指数であっても，BMI と同様にこれらの指数は，概念上身長とは無相関でなければならない．若年成人男女では，これらの指数と身長間には有意な相関がないと報告されている[29)]．しかし，小児の研究では，FFMI と FMI とも，BMI と同様に５歳までの低年齢では身長と有意に相関しないが，少なくとも６歳から８歳までの間では有意な相関が認められている[30)31)]．従って，BMI と同様に，FFMI と FMI の使用もある年齢範囲に限定される可能性がある.

## 参 考 文 献

１）健康・栄養情報研究会（2000）：国民栄養の現状，平成10年国民栄養調査結果，pp. 46，第一出版.
２）Must A, Strauss RS（1999）: Risks and consequences of childhood and adolescent obesity.

Int J Obes Relat Metab Disord., 23 (Suppl 2), S2-S11.

3) Bellizzi MC, Dietz WH (1999): Workshop on childhood obesity: summary of the discussion. Am J Clin Nutr, 70, 173S-175S.

4) Dietz WH, Robinson TN (1988): Use of the body mass index (BMI) as a measure of overweight in children and adolescents. J Pediatr, 132, 191-193.

5) Prentice AM (1998): Body mass index standards for children. Br Med J, 317, 1401-1402.

6) Van Itallie TB, Yang M-U, Heymsfirld SB, Funk RC, Boileau RA (1990): Height-normalized indices of the body's fat-free mass and fat mass: potentially useful indicators of nutritional status. Am J Clin Nutr, 52, 953-959.

7) Rolland-Cachera MF, Sempe M, Guilloud-Bataille M, Patois E, Pequignot-Guggenbuhl F, Fautrad V (1982): Adiposity indices in children. Am J Clin Nutr, 36, 178-184.

8) Quetelet LAJ (1869): Physique sociale 2, pp.92, C. Muquardt. (Brussels).

9) Keys A, Fidanza F, Karvonen MJ, Kimura N, Taylor HL (1972): Indices of relative weight and obesity. J Chron Dis, 25, 329-343.

10) Sarria A, Garcia-Llop LA (1998): Skinfold thickness measurements are better predictors of body fat percentage than body mass index in male Spanish children and adolescents. Eur J Clin Nutr, 52, 573-576.

11) Chan YL, Leung SSF, Lam WWM, Peng XH, Metreweli C (1998): Body fat estimation in children by magnetic resonance imaging bioelectrical impedance, skinfold and body mass index: a pilot study. J Paediatr Child Health, 34, 22-28.

12) Pietrobelli A, Faith MS (1998): Body mass index as a measure of adiposity among children andadolescents: a validation study. J Pediatr, 132, 204-210.

13) Garn SM, Leonard WR, Hawthorne VM (1986): Three limitations of the body mass index. Am J Clin Nutr, 44, 996-997.

14) Guilaume M (1999): Defining obesity in childhood: current practice. Am J Clin Nutr, 70 (Suppl), 126S-130S.

15) Smalley KJ, Knerr A, Kendrick ZV, Colliver JA, Owen OE (1990): Reassessment of body mass indices. Am J Clin Nutr, 52, 405-408.

16) Wells JCK (2000): A Hattori chart analysis of body mass index in infants and children. Int J Obes, 24, 325-329.

17) World Health Organization (1998): Obesity; preventing and managing the global epidemic. Report of a WHO consultation on obesity. World Health Organization, (Geneva).

18) Jackson AS, Stanforth PR, Gagnon J, Rankinen T, Leon AS, Rao DC, Skinner JS (2002): The effect of sex, age and race on estimating percentage body fat from body mass index: The Heritage Family Study. Int J Obes, 26, 789-796.

19) Himes JH, Dietz WH (1994): Guidelines for overweight in adolescent preventive services: recommendations from an expert committee. Am J Clin Nutr, 59, 307-316.

20) Cole TJ (1979): A method for assessing age-standardized weight-for-height in children seen cross-sectionally. Ann Hum Biol, 6, 249-268.

21) Reilly JJ, Dorosty AR, Emmett PM, The ALSPAC Study Team (2000): Identification of the Obese children: adequacy of the body mass index for clinical practice and epidemiology. Int J Obes, 24, 1623-1627.

22) 東京都立大学体力標準値研究会 (2000)：日本人の体力標準値2000, pp. 143-145, 不昧堂出版, (東京).

23) Rolland-Cachera MF, Deheeger M, Bellisle F, Sempe M, Guilloud-Bataille M, Patois E (1984): Adiposity rebound in children: a simple indicator for predicting obesity. Am J Clin Nutr, 39, 129-135.

24) Griffiths M, Payne PR, Stunkard AJ, Rivers JPW, Cox M (1990): Metabolic rate and physical development in children at risk of obesity. Lancet, 336, 76-78.

25) Cole TJ (1986): Weight/heightp compared to weight/height$^2$ for assessing adiposity in childhood: influence of age and bone age on *P* during puberty. Ann Hum Biol, 13, 433-451.

26) Gasser T, Ziegler P, Seifert B, Prader A,

Molinart L, Largo R (1994): Measures of body mass and of obesity from infancy to adulthood and their appropriate transformation. Ann Hum Biol, 21,111-125.

27) Bartlett HL, Puhl SM, Hodgson JL, Buskirk ER (1991): Fat-free mass in relation to stature: Ratios of fat-free mass to height in children, adults, and elderly subjects. Am J Clin Nutr, 53, 1112-1116.

28) Schutz Y, Kyle UUG, Pichard C (2002): Fat-free mass index and fat mass index percentiles in Caucasians aged 18-98y. Int J Obes, 26, 953-960.

29) Hattori K (1991): Body composition and lean body mass index for Japanese college students. J Anthrop Soc Nippon, 99, 141-148.

30) Well JCK, Cole TJ, ALSPAC study team (2002): Adjustment of fat-free mass and fat mass for height in children aged 8 y. Int J Obes, 26, 947-952.

31) Komiya S, Nakao T (2003): The relationships between stature, fat-free mass index, and fat mass index at before and after BMI-rebound in children. (unpublished).